



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

“Implementación de una red de monitoreo de la concentración de CO₂ usando dispositivos LoRaWAN en zonas de aglomeración de la Unidad Educativa Fiscal Antisana en la parroquia de Pintag”.

AUTOR: Paredes Collaguazo Ángel Paul

DIRECTOR: Ing. Altamirano Carillo Carlos Daniel PhD.



AGENDA

1.- INTRODUCCIÓN

2.- OBJETIVOS

3.- METODOLOGÍA

4.- DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

5.- PRUEBAS Y RESULTADOS

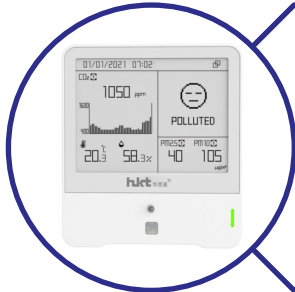
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



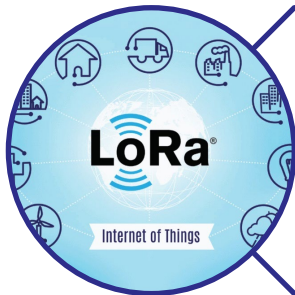
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



La contaminación del aire es un problema relevante con impacto en ecosistemas y aulas, afectando el bienestar y desempeño humano.



Tecnologías como LoRaWAN pueden mitigar riesgos de enfermedades relacionadas con el aire en ambientes educativos.



LoRaWAN es inalámbrico y eficiente energéticamente, adecuado para monitoreo de CO2 en áreas remotas

Importancia

Preservar el bienestar estudiantil al identificar efectos negativos relacionadas con la calidad del aire.

Necesidades

Carencia de monitoreo adecuado de CO2 en ambientes cerrados.

Relevancia

La implementación de sensores de CO2 y tecnología LoRaWAN pueden mejorar la calidad del aire

Beneficios Adicionales

Identificación de patrones y tendencias, guía para decisiones futuras en sostenibilidad y mejoras.



Objetivo General

Implementar un sistema de monitoreo de calidad de aire usando dispositivos con tecnología LoRaWAN que permitan recopilar información de concentración de CO2 en áreas de aglomeraciones de la Unidad Educativa Fiscal Antisana.

Objetivos Específicos

- Proponer una solución con tecnología LoRaWAN que incluya un equipo Gateway y sensores de concentración de CO2 que brinde cobertura en todas las áreas de mayor aglomeración.
- Generar una base de datos y validar los resultados obtenidos estableciendo la relación que existe entre número de personas y concentración de CO2.
- Determinar si existe afectación en el rendimiento académico de los estudiantes en aulas que muestren mayor concentración de CO2.
- Implementar el envío de un mensaje de alerta en caso de sobrepasar los niveles máximos permitidos de concentración de CO2.

Contaminación del aire

Es la presencia de sustancias dañinas en la atmósfera debido a actividades humanas y naturales, causando problemas de salud y ambientales.



Dióxido de carbono

Es un gas incoloro e inodoro presente naturalmente en la atmósfera. Resulta de la respiración animal, la descomposición y la combustión de carbono

Concentraciones de CO2 permisibles

Categoría	Valores limites ambientales	Tipo de Edificio
IDA 1	350 ppm	<ul style="list-style-type: none">Hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
IDA 2	500 ppm	<ul style="list-style-type: none">Oficinas, residencias, salas de lectura, salas de tribunales, museos, aulas de enseñanza y piscinas.
IDA 3	800 ppm	<ul style="list-style-type: none">Edificios comerciales, teatros, cines, salones de actos, restaurantes, cafeterías, bares, habitaciones de hoteles, locales para deportes, gimnasios y salas de ordenadores.
IDA 4	1200 ppm	<ul style="list-style-type: none">Resto de locales.

Obtenido de ((INSST), 2022)

Internet de las cosas

Conexión de objetos cotidianos a Internet para mejorar su funcionamiento y automatización.

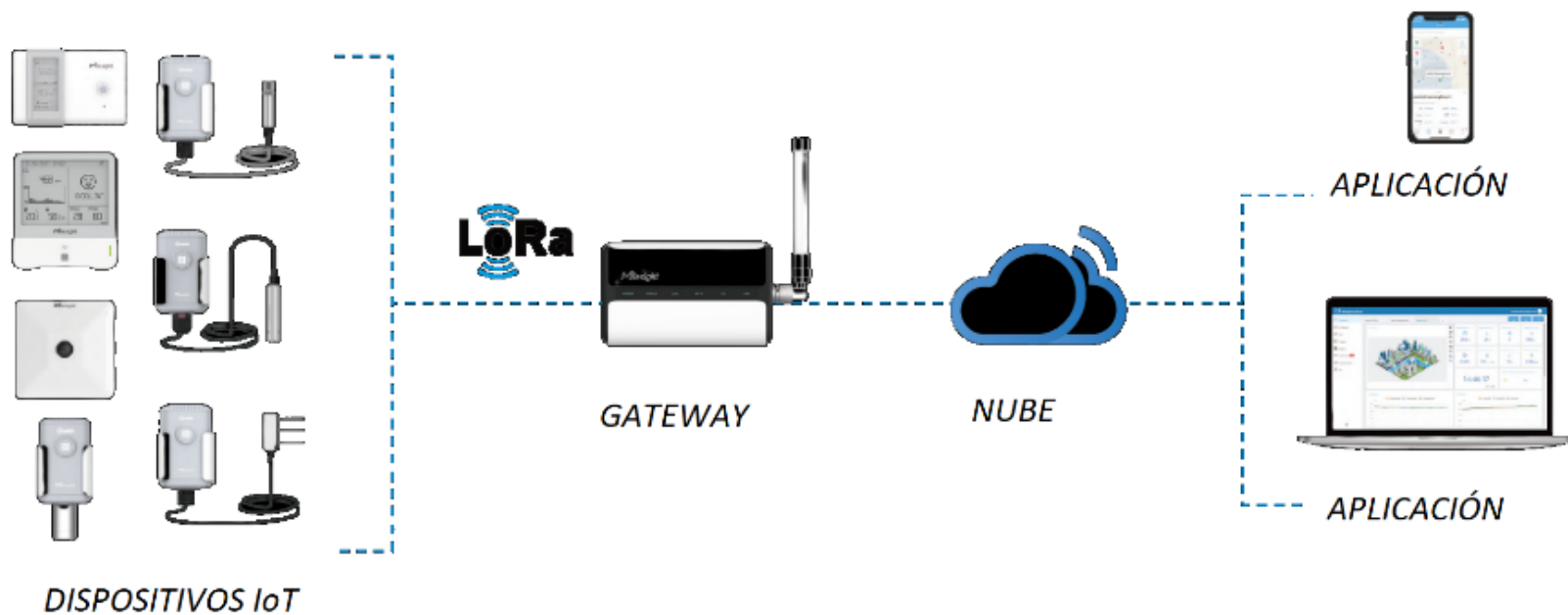


LoRaWAN

Protocolo de comunicación inalámbrica el cual cumple con una red de área amplia y una baja potencia.



Diagrama esquemático de una red LoRaWAN



Canales y velocidad de transmisión

Ecuador pertenece al plan de canales AU915-928 el mismo que debe dividirse de la siguiente manera

	Frecuencias designadas
UPSTREAM	64 canales del 0 al 63 con 125 kHz 915,2 MHz - 927,8 MHz (200 kHz) 8 canales del 64 al 71 con 500 kHz 915,9 MHz - 927,1 MHz con 1.6 MHz
DOWNSTREAM	8 canales del 0 al 7 con 500 kHz 923.3 MHz - 927,5 MHz con 600 kHz

Obtenido de (Alliance L. , 2020).

Factor de Dispersión

Tasa de datos	Configuración	Tasa de Bit
0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125
5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470

Obtenido de (Alliance L. , 2020).

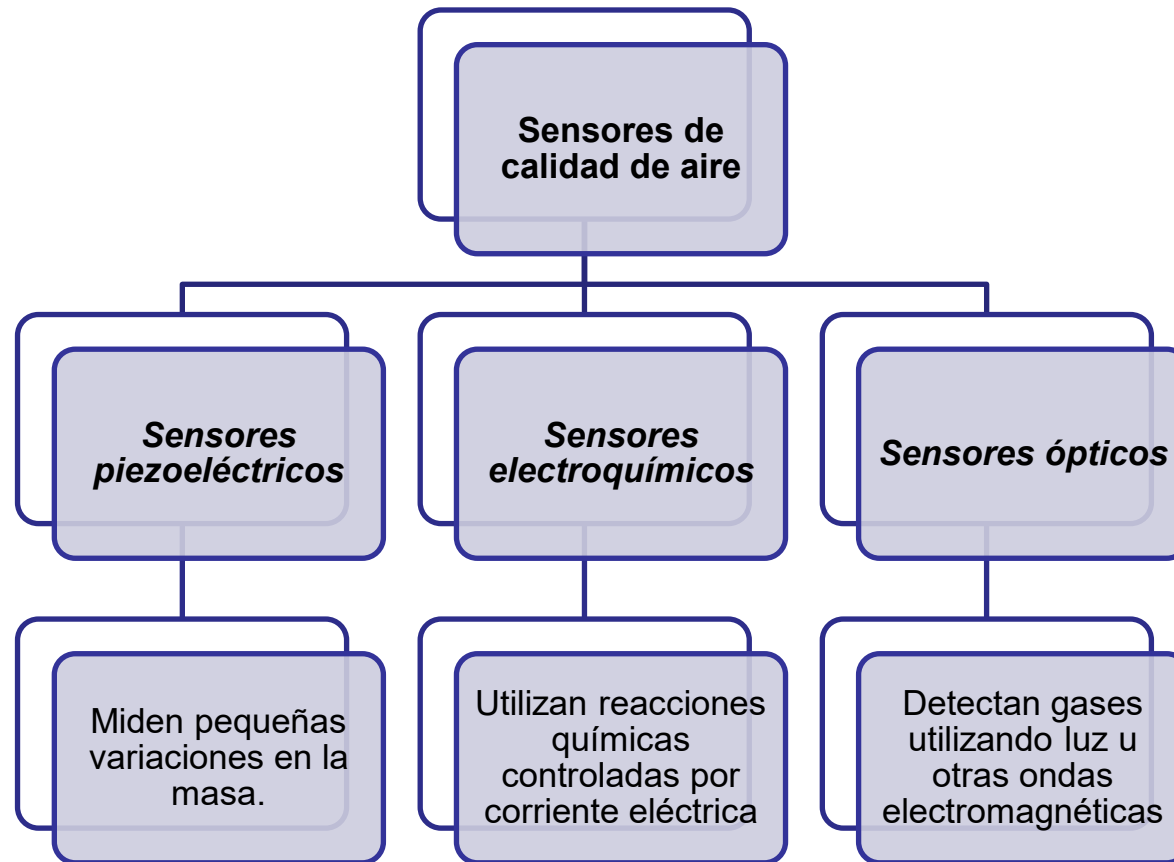
Calidad del enlace de radio en función del RSSI y SNR

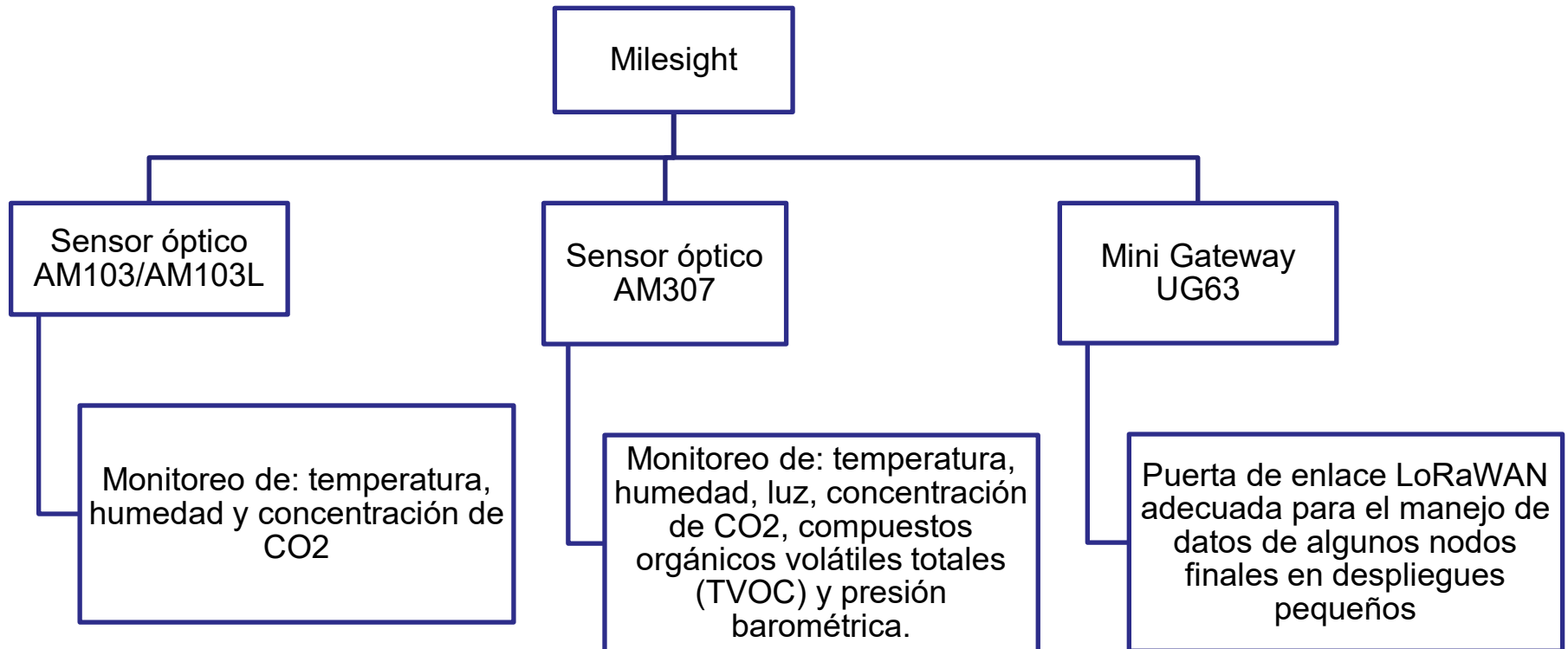
Los valores típicos SNR y RSSI en LoRa oscilan entre

- -20 dB y +10 dB
- -30 dBm y -120 dBm

Calidad	RSSI	SNR	Interpretación
Buen Enlace	RSSI > -100 dBm	SNR > -7dB	Señal fuerte y bajo nivel de ruido
Mal Enlace	RSSI ≤ -120 dBm	SNR ≤ -13 dB	Límite de alcance.
Casos intermedios	RSSI > -100 dBm	SNR ≤ -13 dB	Señal fuerte pero ambiente ruidoso
	RSSI ≤ -120 dBm	SNR > -7dB	Dispositivo lejano, eliminar posibles obstáculos

Obtenido de (Sensing-Labs, 2023)





Desarrollo e Implementación

Descripción de la Unidad Educativa Fiscal Antisana

Curso	Número de estudiantes
Octavo A	25
Octavo B	23
Noveno A	18
Noveno B	20
Décimo A	22
Décimo B	27
1ero Bachillerato A	23
1ero Bachillerato B	25
2do Bachillerato A	21
2do Bachillerato B	23
3ero Bachillerato A	26



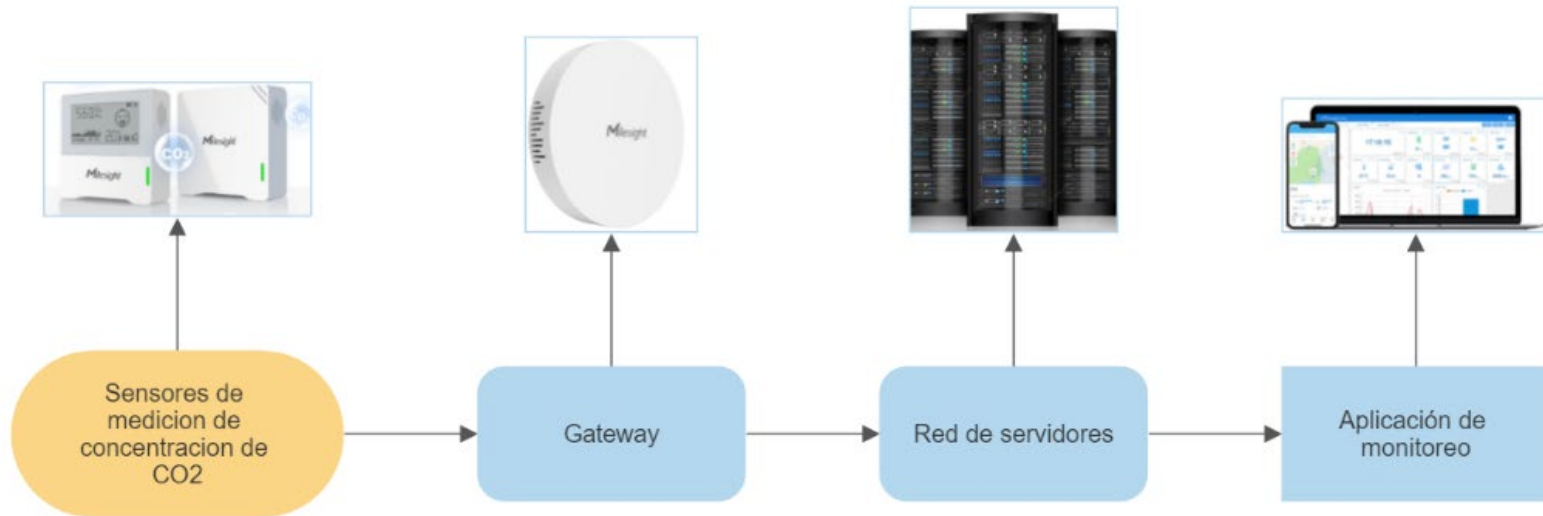
Aulas del décimo A y décimo B de la Unidad Educativa Fiscal Antisana



Aula de computación de la Unidad Educativa Fiscal Antisana

Desarrollo e Implementación

Arquitectura de la red de monitoreo de CO2



Desarrollo e Implementación

Distancia de los sensores al Gateway UG63

- Sensor AM103L a 81 metros
- Sensor AM103 a 75 metros
- Sensor AM307 8 metros



Configuración de sensores

Parámetros	Descripción		
Factor de dispersión	Si modo ADR apagado se coloca desde SF7 al SF12		
Frecuencia RX2	923,8 (AM103)	924,0 (AM307)	924,2 (AM103L)
Frecuencia de soporte	AU915		
Habilitar índice del canal	43 (AM103)	44 (AM307)	45 (AM103L)
Modo de confirmación	Si no recibe el paquete ACK se reenvía 3 veces mas (ACTIVO)		
Modo ADR	Permite al servidor de red ajustar la velocidad de datos. (ACTIVO)		
Intervalo de reporte	5 minutos		

Prueba de funcionamiento

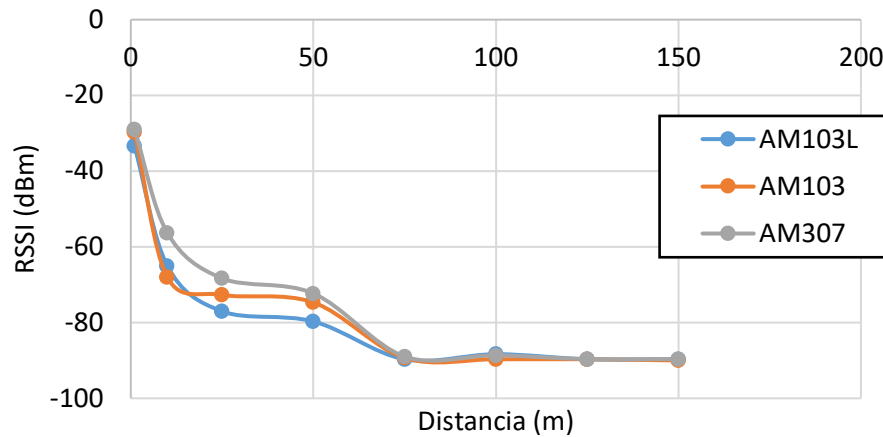
Distancia	AM103L		AM103		AM307		SF
(m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	
1	-33,33	13,60	-29,67	10,93	-29,00	12,23	SF7
10	-65,00	11,80	-68,00	7,17	-56,33	12,20	SF7
25	-77,00	-0,87	-72,67	-0,67	-68,33	3,60	SF7
50	-79,67	-7,13	-74,67	-8,53	-72,33	-5,93	SF7
75	-89,67	-11,17	-89,33	-6,83	-89,00	-7,37	SF10
100	-88,33	-6,03	-89,67	-14,23	-88,67	-8,13	SF10
125	-89,67	-12,07	-89,67	-15,90	-89,67	-11,73	SF10
150	-89,67	-11,93	-90,00	-14,30	-89,67	-16,50	SF10



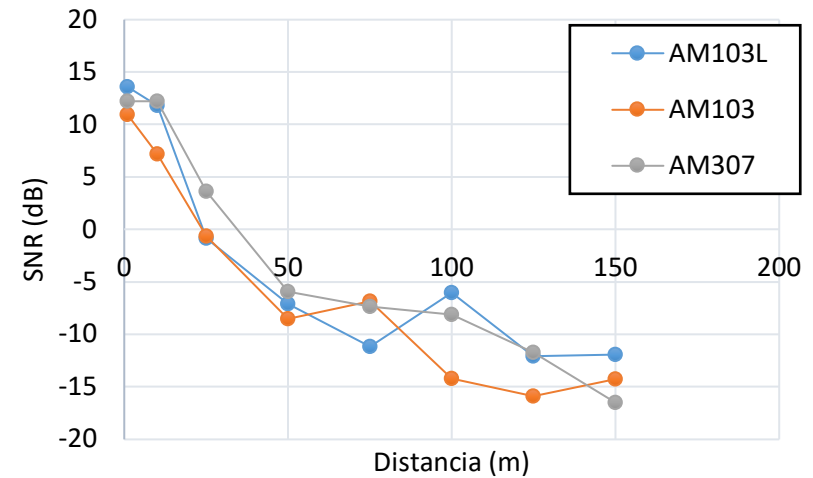
Pruebas y Resultados

Distancia	Observaciones
1-10 m	Valores positivos de RSSI y SNR, señal robusta.
10-25 m	Variabilidad en calidad de conexión, disminución en RSSI y SNR.
25-50 m	Algunos dispositivos declinan en calidad (RSSI y/o SNR).
100 m	Degradación marcada en valores de RSSI y SNR
150 m	Calidad deficiente en la mayoría de dispositivos.
175 m	Pérdida completa de señal en tres sensores.

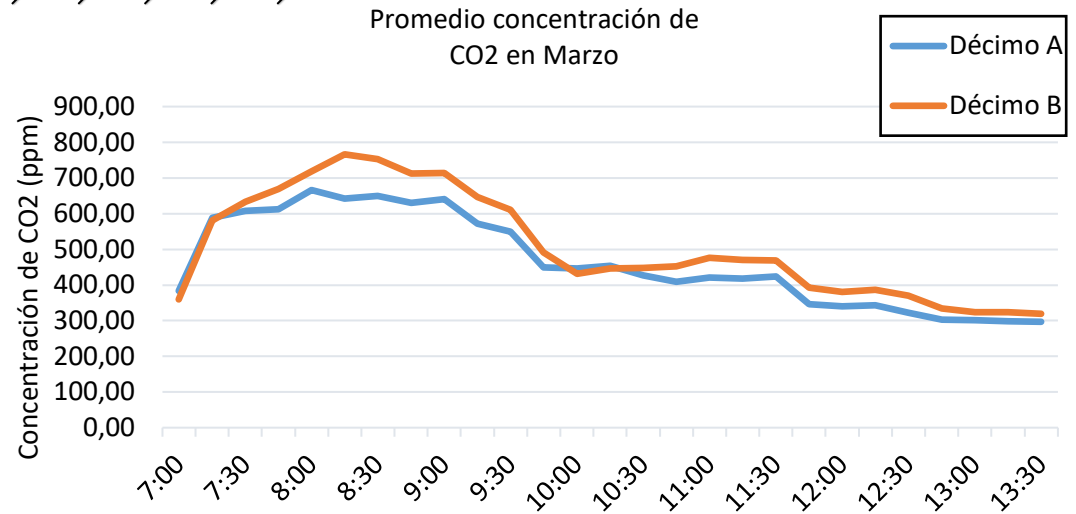
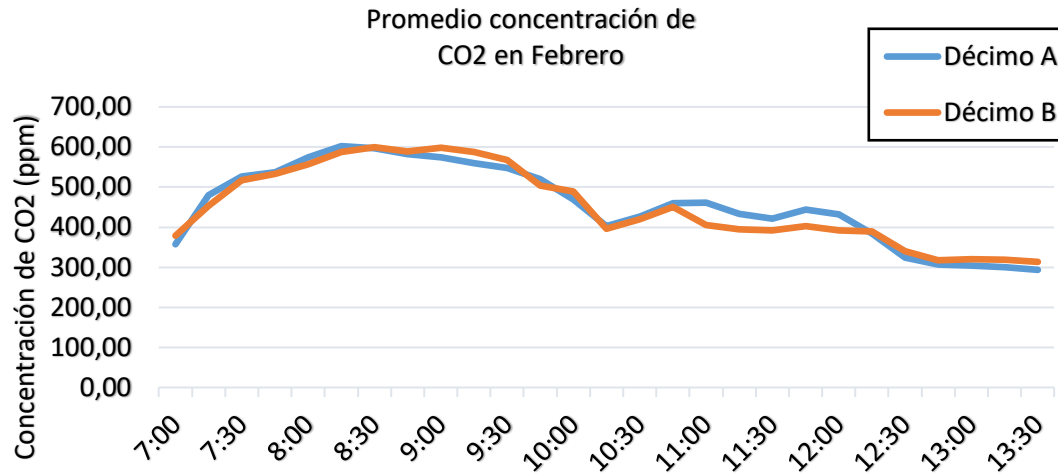
RSSI vs Distancia



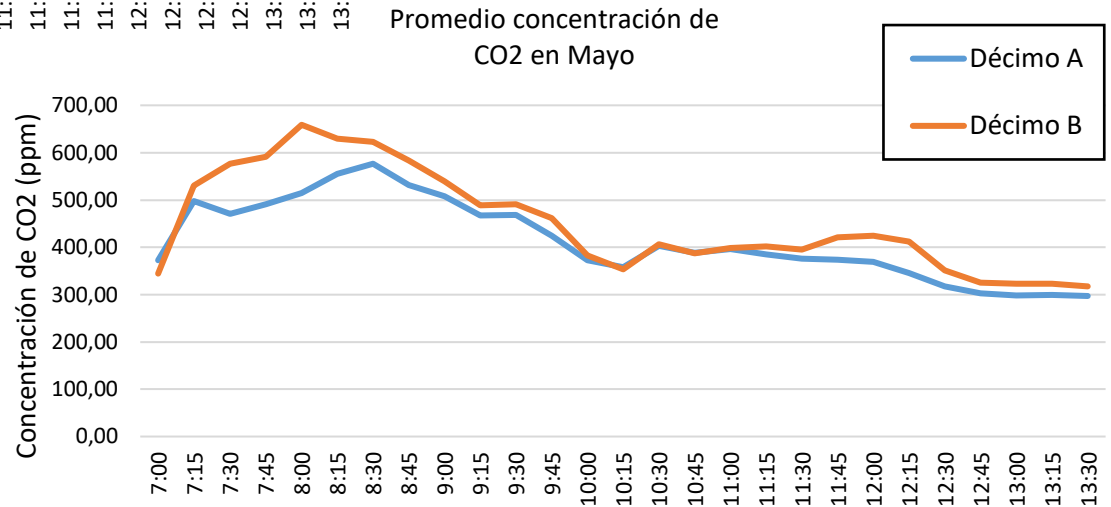
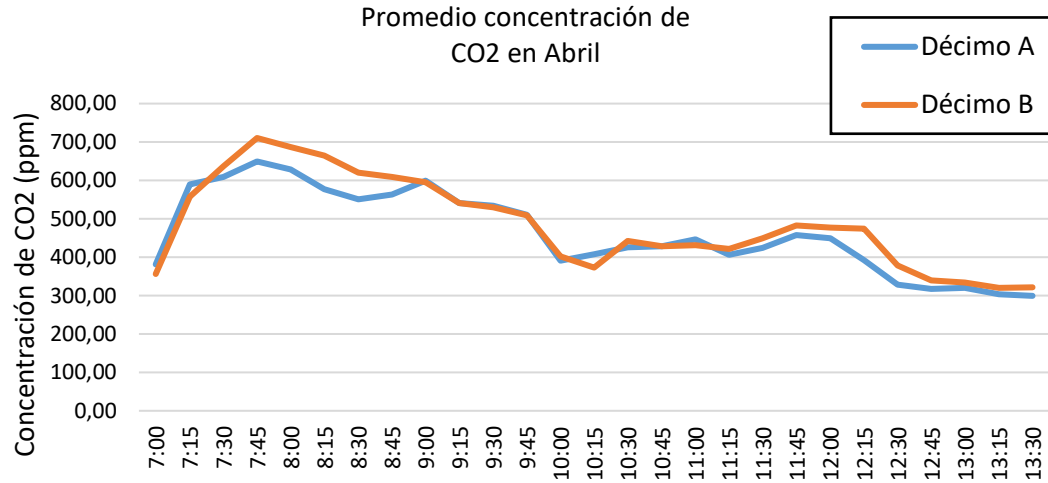
SNR vs Distancia



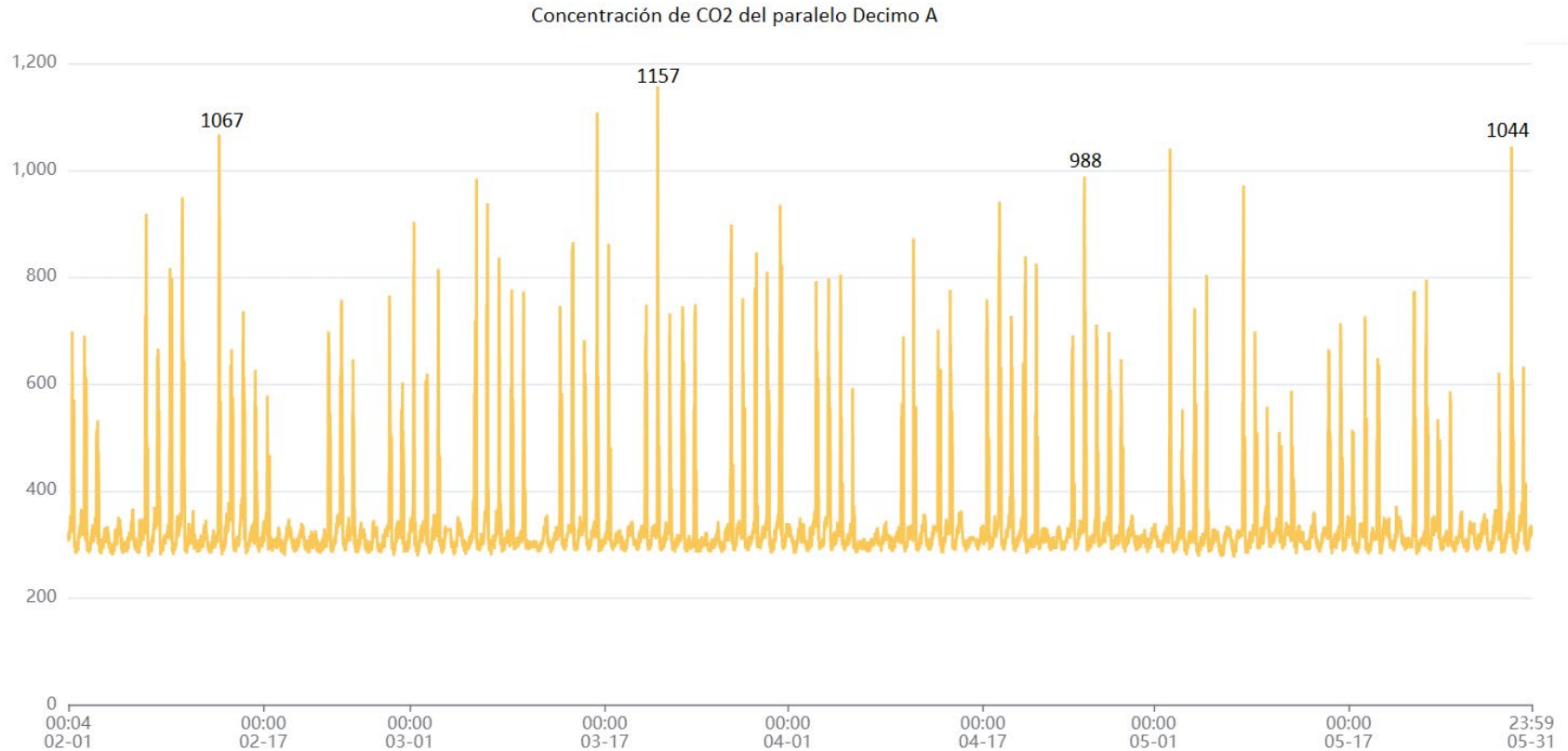
Pruebas de concentración de CO2



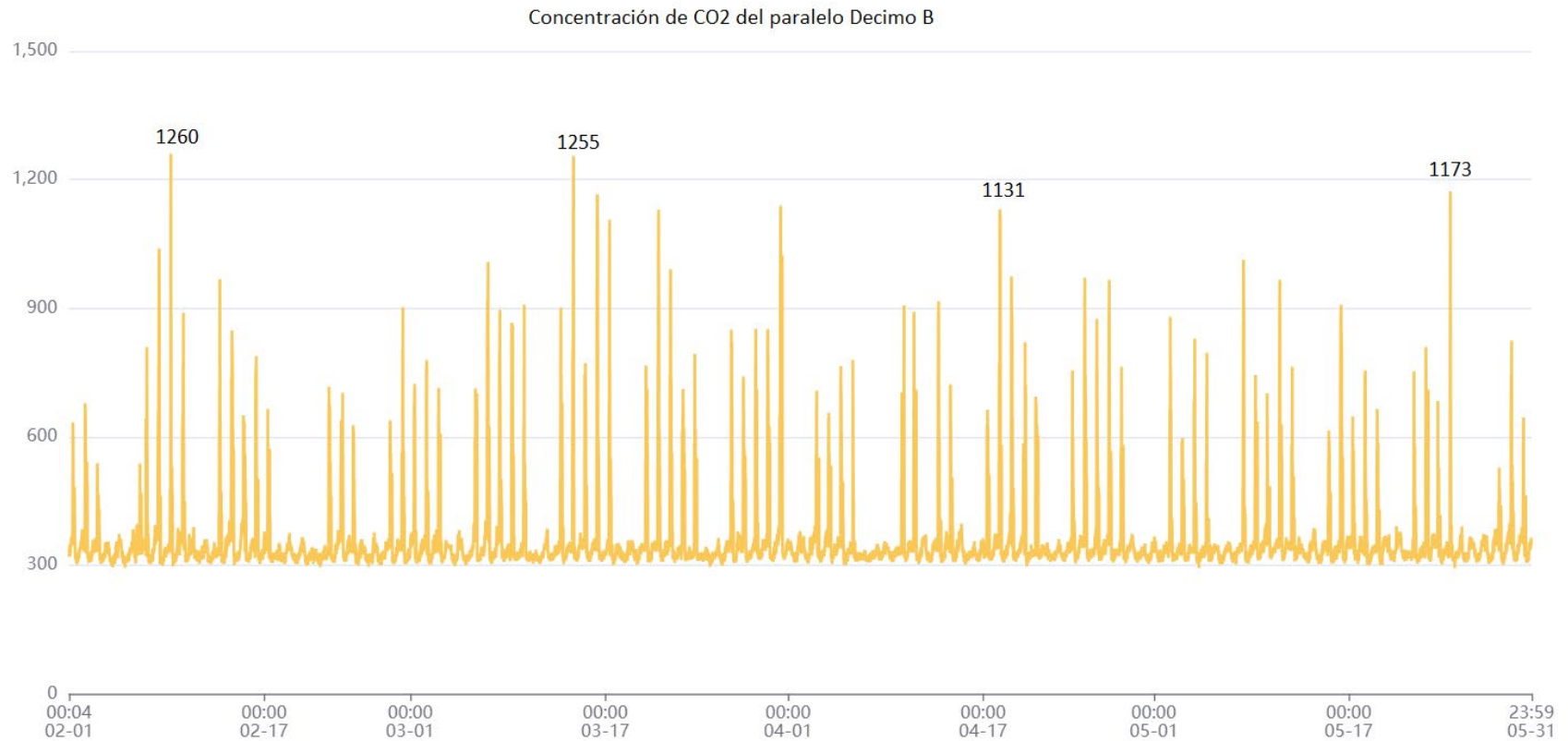
Pruebas de concentración de CO2



Valores pico de concentración de CO2



Valores pico de concentración de CO2



Pruebas y Resultados

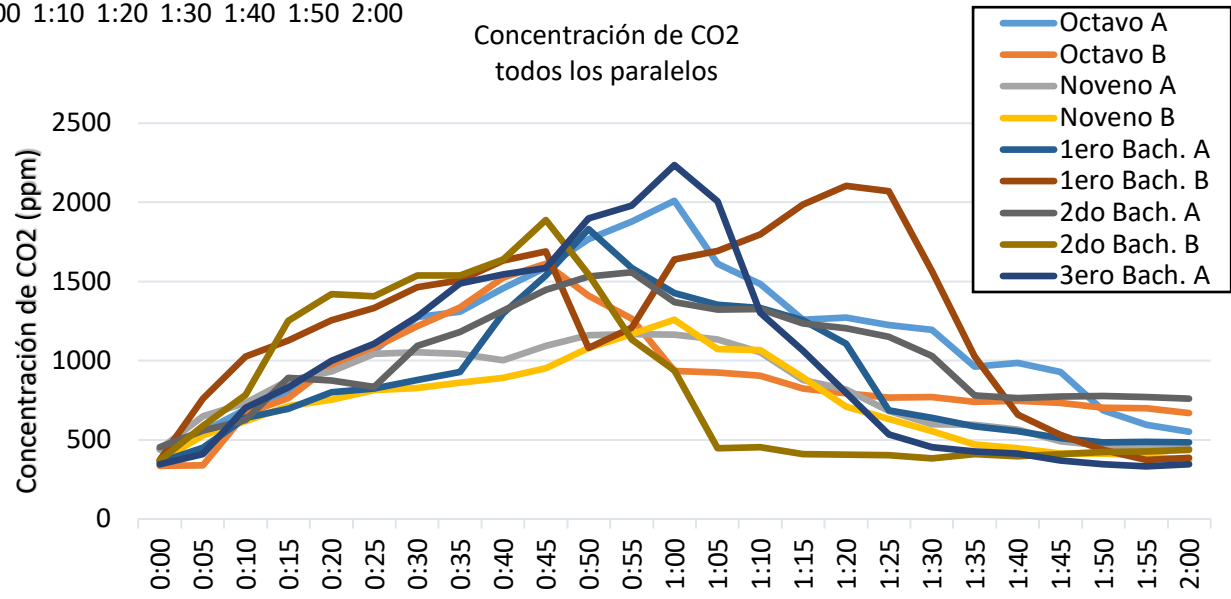
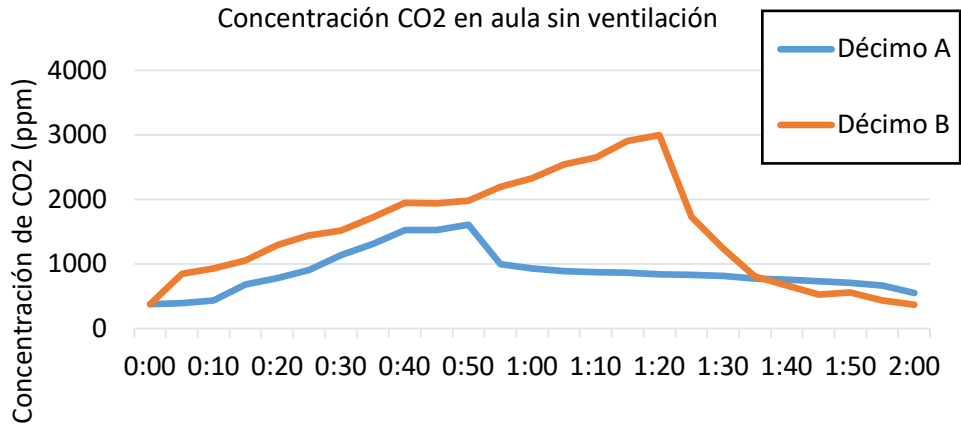
Incidencia de concentración de CO2 en el rendimiento académico

	Promedio Anual Décimo A	Promedio Anual Décimo B
Ciencias naturales	8,11	7,99
Educación Artística	7,3	7,73
Educación Física	7,71	7,81
Estudios Sociales	7,78	7,89
Inglés	7,42	7,12
Lengua y Literatura	7,65	7,26
Matemática	6,84	6,84
Total	7,54	7,52

Disponibilidad de los sensores

	AM103L	AM103	AM307
Horas de no Disponibilidad	2 d 13 h 08 min.	22 h 09 min	12 h 08 min
Porcentaje de disponibilidad	97,88%	99,23%	99,57%

Prueba de concentración de CO2 en un ambiente sin ventilación



Determinación de la tasa de renovación de aire

	C_{inicio}	C_{exterior}	C_{final}	t_{inicio}	t_{final}	ACH
Octavo A	2009	385,73	986,34	1:00	1:40	1,5
Octavo B	1614	385,73	840,19	0:45	1:15	2,0
Noveno A	1167	385,73	674,80	0:55	1:30	2,0
Noveno B	1260	385,73	709,21	1:00	1:20	3,0
Décimo A	1608	385,73	837,97	0:50	1:25	2,0
Décimo B	3001	385,73	1353,38	1:20	1:30	6,0
1ero Bach. A	1830	385,73	920,11	0:50	1:25	2,0
1ero Bach. B	2103	385,73	1021,12	1:20	1:40	3,0
2do Bach. A	1559	385,73	819,84	0:55	1:35	1,5
2do Bach. B	1890	385,73	942,31	0:45	1:00	4,0
3ero Bach. A	2237	385,73	1070,70	1:00	1:15	4,0

- Se implemento un sistema de monitoreo de calidad del aire utilizando dispositivos con tecnología LoRaWAN en la Unidad Educativa Fiscal Antisana y se logró recopilar información sobre la concentración de CO₂ en áreas de aglomeración, obteniéndose una visión detallada de la calidad del aire en diferentes espacios
- Se verifico que el sistema de monitoreo funcionó de manera adecuada en la Unidad Educativa Fiscal Antisana. En las pruebas de funcionamiento, se realizó la medición de la relación señal-ruido (SNR) y el indicador de potencia de la señal recibida (RSSI). Los resultados demostraron que el sistema de monitoreo fue capaz de proporcionar una cobertura efectiva en distancias de hasta 150 metros. Esta cobertura garantiza un monitoreo confiable y preciso de la calidad del aire dentro de las instalaciones de la Unidad Educativa Fiscal Antisana.

- Los sensores utilizados en el sistema de monitoreo demostraron una alta disponibilidad en su funcionamiento. Con valores de 99,57% para el AM307, 99,23% para el AM103 y 97,88% para el AM103L. Esto significa que los sensores fueron confiables y estuvieron operativos durante la mayor parte del tiempo de monitoreo.
- Encontramos que el décimo B presenta una mayor concentración de CO₂ en comparación con el décimo A de manera general y a su vez se demostró que el rendimiento académico en el décimo A es ligeramente superior al del décimo B, a pesar de que no se haya sido una diferencia muy significativa.

- Se identificaron concentraciones nocivas de CO₂ en el aula de computación en todos los cursos desde octavo a tercero de bachillerato. Es importante abordar este problema para crear un entorno de aprendizaje saludable, mejorando la ventilación natural del aula o tomando en cuenta los valores calculados de la tasa de renovación de aire para cada curso.
- El implementar un sistema de alerta que notificaba cuando los niveles de concentración de CO₂ superan los límites permitidos fue una medida positiva. Esto permitió tomar acciones rápidas como ventilar el aula y trasladar a los estudiantes a espacios abiertos hasta que los valores de concentración de CO₂ regresen a los valores normales para garantizar la salud y el bienestar de los estudiantes y el personal de la Unidad Educativa Fiscal Antisana.

- Recomendamos mejorar la ventilación en el aula de computación para reducir la concentración de CO₂ y mejorar la calidad del aire. También es importante realizar un monitoreo continuo de la calidad del aire en todas las áreas del colegio, especialmente en aquellas donde se han encontrado concentraciones nocivas de CO₂. Esto permitirá identificar patrones y tomar medidas preventivas.
- Además, recomendamos establecer programas de concienciación y educación sobre la importancia de la calidad del aire y los efectos del CO₂ en el rendimiento académico. Es fundamental que los estudiantes, el personal docente y los padres estén informados sobre las medidas tomadas y cómo pueden contribuir a mejorar la calidad del aire en el colegio.

MUCHAS GRACIAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA